

УЧАСТИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРОЕКТЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ЛИНЕЙНОГО КОЛЛАЙДЕРА ILC

Ю.А. Будагов, Ю.Н. Денисов, И.Н. Мешков, Г.В. Трубников, А.Н. Сисакян, Г.Д. Ширков
Объединенный Институт Ядерных Исследований, Дубна, Россия
E-mail: shirkov@jinr.ru

Представлена информация об уникальном глобальном проекте будущего в области физики высоких энергий – Международном линейном коллайдере ILC. С 2005 г. ОИЯИ активно участвует в этом проекте. Представлены материалы о технических и научных сторонах проекта, участниках и организации проектных работ. Детально проработанная информация дана об ОИЯИ, как одном из кандидатов на размещение ILC в районе г. Дубны Московской области.

ВВЕДЕНИЕ

Международный комитет по ускорителям будущего (ICFA) при Международном союзе фундаментальной и прикладной физики (IUPAP) объявил о важнейшем решении объединить усилия научных центров мира в создании ускорительного комплекса нового поколения – Международного линейного коллайдера (International Linear Collider, ILC).

Беспрецедентная задача коллайдера ILC (техническое осуществление которой стало возможно лишь в 21 столетии) состоит в обеспечении измерений в области физики элементарных частиц с невиданной до сих пор точностью в широком интервале максимально высоких энергий сталкивающихся частиц (электронов и позитронов). Возможность варьирования энергии в системе центра масс сталкивающихся частиц от 500 до 1000 ГэВ имеет ключевое значение для обеспечения максимальной точности измерений.

Принципиальным является то, что коллайдер ILC вступит в дело после нескольких лет работы Большого адронного коллайдера (LHC), крупнейшего в мире ускорителя частиц, строительство которого завершается в 2008 г. в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН, Женева). Коллайдер LHC будет своеобразным “целеуказателем” для дальнейших наиболее перспективных исследований.

Создание и успешная работа коллайдера ILC даст возможность получить ответы на многие важнейшие вопросы физики элементарных частиц, которые лежат в основе целостного, единого понимания современного микро- и макромира и позволят наиболее точно воссоздать лежащие в основе обнаруженных явлений законы Природы.

Коллайдер ILC станет уникальным инструментом для наиболее глубокого проникновения в природу материи и изучения ее фундаментальных свойств, исследования пространства и времени, решения вопросов о происхождении массы частиц, темной материи, темной энергии, существования дополнительных измерений в пространстве-времени и т. д.

Успешное осуществление мегапроекта – создание ускорителя следующего поколения ILC, безусловно, предъявит совершенно новые требования к таким важным областям науки и техники как ядерная энергетика, нанотехнологии, ускорительная и криогенная техника, новые источники энергии и новые материалы, кристаллография и т. д.

В 2005 г. ICFA назначил директорат Международной Проектной Группы (GDE). В GDE вошли известные ученые из стран, готовых участвовать в создании ILC. В состав комитета от России входят А. Скринский (ИЯФ им. Г.И. Будкера, Новосибирск) и М. Данилов (ИТЭФ, Москва). Г. Ширков представляет ОИЯИ (Дубна).

Задачи GDE состоят в координации ведущихся в разных институтах мира работ по проекту ILC и осуществлении взаимодействия с политическими и финансовыми институтами стран, участвующих в подготовке проекта. Концептуальный проект (RDR – Reference Design Report) [1] ILC был выполнен в 2006 году и представлен на заседании комитета ICFA в феврале 2007 года в Пекине. В настоящее время начата подготовка EDR – Engineering Design Report.

Проект ILC сегодня представляется как полностью Международный научный проект, который должен разрабатываться, финансироваться, управляться, обслуживаться и эксплуатироваться в рамках соответствующим образом организованного широкого Международного научного сотрудничества.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ILC

Возможности ILC, как нового «супермикроскопа» в микромире, определяются энергией ускоряемых частиц и размерами пучков в месте встречи – десятки нанометров. Реализация подобной точности является сложной научно-технической задачей.

Принципиальная схема Международного линейного коллайдера ILC показана на Рис.1.

Номинальная светимость (полная интенсивность в области взаимодействия) при энергии электронов 500 ГэВ составляет $2 \cdot 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Для 500 ГэВ-установки на основе резонаторов типа TESLA максимальный темп ускорения всех 20000 резонаторов должен быть 35 МВ/м и рабочий градиент 31,5 МВ/м при длине каждого из двух линейных ускорителей 11 км. При последующем увеличении энергии до 1 ТэВ рекомендованы резонаторы, имеющие максимальный градиент 40 МВ/м и рабочий градиент 36 МВ/м, что приведет к увеличению длины каждого из двух линейных ускорителей на 9,3 км. В этом случае полная длина двух линейных ускорителей составит около 40 км и длина всей установки (полная длина туннеля) около 50 км. Основные параметры ILC (I очередь) приведены в таблице.

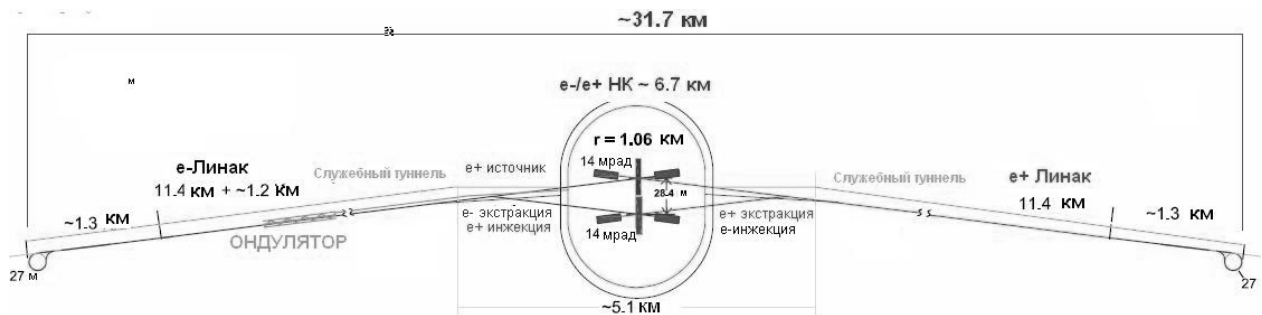


Рис.1. Вариант структуры ILC (на энергию 2 x 500 ГэВ)

Основные параметры ILC (I очередь)

Энергия в системе центра масс	500	ГэВ
Максимальная светимость	$\sim 2 \times 10^{34}$	1/см ² с
Ток в пучке	9.0	мА
Частота повторения	5	Гц
Средний ускоряющий градиент	31.5	МВ/м
Длительность импульса	0.95	нс
Полные размеры	31	км
Полная потребляемая мощность	~ 230	МВт

зации проекта позволят его участникам взаимно использовать наилучшие научные и технологические достижения в своих странах. Вовлеченность в высокотехнологичный проект подобного масштаба ученых и специалистов из РФ, ОИЯИ и его стран-участниц в сооружение ускорителя будет способствовать ускоренному развитию передовых технологий в этих странах.

План-график работ показан на Рис.2. К настоящему времени пять исследовательских центров представили заявки и официально рассматриваются как возможные кандидаты на размещение ILC в своих странах: ЦЕРН (Швейцария, Франция); ДЭЗИ (Германия); Лаборатория им. Ферми (США); Лаборатория КЕК (Япония); ОИЯИ (Дубна, Россия).

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И СТОИМОСТЬ ПРОЕКТА

Организация и масштабы работ по сооружению ускорителя ILC являются беспрецедентными. Широкие межгосударственные связи на всех этапах реали-

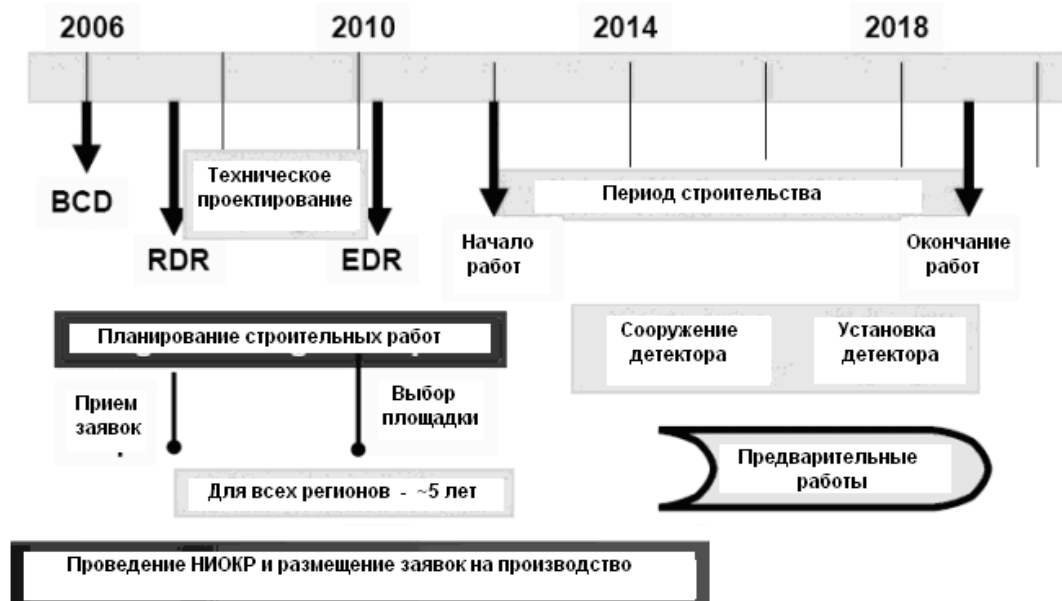


Рис.2. План-график работ по проекту ILC

(BCD – документ базовой конфигурации; RDR – Техническое описание; EDR – Технический проект)

Стоимость полномасштабного проекта ILC в настоящее время, по оценкам комитета GDE, составляет 6,5-7,0 миллиардов долларов США в зависимости от места расположения и глубины залегания 32-километрового туннеля. Распределение затрат следующее: до 1,8 миллиардов долларов – сооружение туннелей и технологических систем и шахт; 4,9 миллиардов долларов – стоимость собственно ускорителя и всех технологических систем; около 22 миллионов человеко-часов – персонал, необходимый для сооружения и запуска комплекса.

По оценке специалистов ГСПИ (Москва) общая стоимость сооружения туннелей линейного ускорителя и всех его технологических систем и шахт, в российских условиях при мелком залегании туннеля, может составить около 25 миллиардов рублей или 1 миллиард долларов США (по сводному сметному расчету в ценах 1 квартала 2006 г.).

По предварительным планам страна, которая заинтересована в сооружении ILC на своей территории, должна финансировать 25-30% стоимости реализации проекта.

ПРЕИМУЩЕСТВА РАЗМЕЩЕНИЯ ИЛС В РАЙОНЕ ДУБНЫ

Современное международное научное сообщество встретило со значительным интересом инициативу по строительству ИЛС в России, в Дубне [2], где ОИЯИ имеет существенные преимущества и привилегии как Международная межправительственная организация из 18 стран-участниц и 5 стран-ассоциированных членов. ОИЯИ обладает уникальным опытом организации и успешного исполнения крупномасштабных научно-исследовательских проектов на базе широкой кооперации научных центров и промышленных предприятий многих стран. Соглашение между Правительством РФ и ОИЯИ об особом статусе научной организации было введено в действие Федеральным Законом в январе 2000 г. и подписано президентом РФ В.В. Путиным.

Основные преимущества строительства ИЛС в районе Дубны следующие.

1. Наличие ОИЯИ – Международной межправительственной организации, крупнейшего физического центра с квалифицированным персоналом и развитой инфраструктурой, как базовой научной и организационной структуры будущего международного научного центра.

2. Крайне малозаселенная территория, практически свободная от промышленности, рек и дорог. На площадке нет биологических заповедников, религиозных и исторических памятников.

3. Абсолютная сейсмическая устойчивость и геологическая стабильность района.

4. Равнинный рельеф местности и уникальные геологические условия, позволяющие разместить ИЛС на малой глубине (около 20 м) и вести строительство туннелей, экспериментальных залов и других подземных объектов с наименьшими затратами, в том числе открытым способом. Предлагаемое размещение туннелей ускорителя в относительно сухом моренном слое исключает влияние на глубинное распределение подземных вод.

5. Уникальная возможность решения вопроса о стоимости приобретения земли, как это было сделано для ОИЯИ по соглашению между ОИЯИ и Правительством РФ, путем передачи земли, необходимой для сооружения ИЛС, в бессрочное бесплатное пользование.

6. Наличие источников электроэнергии достаточной мощности (ЛЭП 500 кВ, Конаковская ГРЭС, Удомльская АЭС) в районе строительства ИЛС.

7. Развитая система всех видов транспорта и связи, в том числе космической и цифровой. Удачное месторасположение, хорошие автомобильные и железнодорожные коммуникации, водная артерия (бассейн реки Волги), хорошее расположение в Европейском регионе.

8. Создание в Дубне в декабре 2005 г. особой экономической зоны, обеспечивающей льготные условия для разработки и производства наукоемкой технической продукции.

Дубна обладает мощным научным и техническим потенциалом. Развитая инфраструктура позволяет дополнительно привлекать в уже сложившийся ин-

тернациональный коллектив высококвалифицированных научных кадров – специалистов из научных центров мира, обеспечивая им комфортные условия для работы. Это гарантирует высокое качество исследований на ИЛС и получение новых фундаментальных результатов принципиального научного значения. Новая масштабная задача привлечет в Дубну поток талантливой и высокообразованной молодежи, не только из Вузов и научных центров России, но и из зарубежа.

Учитывая, что проект ИЛС рассматривается Международным научным сообществом как стратегический приоритет в области физики высоких энергий, Ученый совет ОИЯИ поддержал идею размещения коллайдера в Дубне и рекомендовал принять участие в подготовке проекта коллайдера и инвестировать соответствующие ресурсы в научно-технические разработки.

В марте 2006 г. Комитет Полномочных Представителей (КПП) правительств государств – членов ОИЯИ, утвердил эти решения. Проект ИЛС и идея его размещения в окрестностях Дубны выносились на обсуждение в Российской академии наук и получили активную поддержку.

В марте 2007 г. губернатор Московской области Б.В. Громов поддержал предложение ОИЯИ о размещении ИЛС на территории Московской области.

В мае 2007 года Президенту РФ В.В. Путину направлено совместное обращение Президента Российской академии наук, губернатора Московской области и директора ОИЯИ с предложением разместить ИЛС на территории РФ.

ХАРАКТЕРИСТИКА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

Линейный ускоритель ИЛС длиной ~50 км предлагается расположить в северной части Московской области в направлении северо-востока от существующего научного центра – ОИЯИ в Дубне (Рис.3). Участок малонаселенный, трасса ускорителя пересекает два небольших населенных пункта и малозагруженную железную дорогу между городами Талдом и Кимры.

Местность в районе трассы ускорителя в основном покрыта лесом с небольшими включениями сельхозугодий.

Длина планируемой площадки под строительство ускорительного комплекса составляет ~ 50 километров, ширина – 1 километр. Существует возможность корректировки расположения трассы. Площадка удобна для сооружения туннелей ускорителя в однородном геологическом слое грунта с учетом кривизны земной поверхности. Основная схема размещения ускорителя предполагает строительство двух параллельных подземных туннелей. Один из них необходим для размещения в нем источников питания, источников ВЧ-мощности, накопителей данных, электроники, управляющих систем и т.п. Во втором туннеле размещаются непосредственно ускоряющие структуры, магнитные элементы для фокусировки пучка и средств диагностики. Полная длина ускорительного туннеля на втором этапе сооружения ИЛС составляет ~50 км.

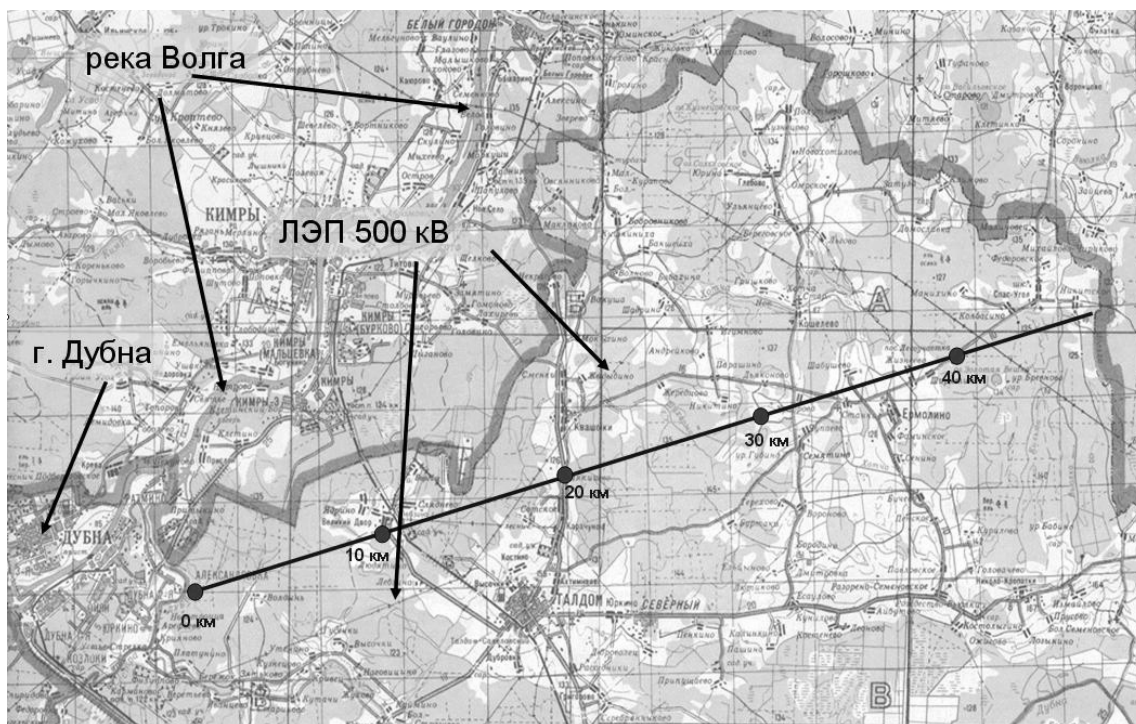


Рис. 3. Предполагаемая трасса строительства ускорителя на территории Московской области

Внутренний диаметр ускорительного и технического туннелей одинаков: около 5 м. Оба туннеля разнесены друг от друга на расстояние ~8 м, чтобы удовлетворить требованиям радиационной безопасности при нахождении персонала в техническом туннеле в процессе работы ускорителя, а также для экранирования элементов линейного ускорителя от воздействий электроники и техники. Основные туннели связаны с поверхностью земли с помощью вертикальных шахт, которые выполнены примерно через каждые 5 км и обеспечивают доступ для персонала, загрузку необходимого оборудования в туннель, вентиляцию, водяное охлаждение и другие технические нужды. Два туннеля связаны между собой под землей несколькими переходами, а также несколькими сотнями технологических каналов диаметром около 50 см для прокладки ВЧ-волноводов, кабелей питания и связи, охлаждающих контуров.

Участок предполагаемого размещения ускорителя находится в пределах Верхневолжской низины. Характерной чертой этой территории является выравненность, монолитность поверхности. Существующие повышения рельефа в виде отдельных холмов и увалов имеют сглаженные формы, мягкие очертания и небольшие превышения. Территория участка местами заболочена. Абсолютные отметки поверхности изменяются от 125 до 135 м относительно уровня Балтийского моря.

Участок предполагаемого размещения ускорителя располагается в пределах Русской плиты – части Восточно-Европейской древней платформы – стабильного, устойчивого структурного элемента земной коры.

Русская плита, как и все другие плиты, обладает четко выраженным двухъярусным строением. Нижний ярус, или структурный этаж, образован древними (нижнепротерозойскими и архейскими) толщами

метаморфических и магматических пород с возрастом древнее 1,7 млрд. лет. Все эти толщи пород спаялись в единое жесткое тело – фундамент платформы.

Сверху залегают аллювиальные отложения – пески мелкие, водонасыщенные мощностью 1...5 м. Ниже – суглинок моренный Московского оледенения полутвердый с включением щебня и изверженных пород. Мощность моренных отложений 30...40 м.

Линейный ускоритель ИС предполагается разместить в суглинистых моренных грунтах на глубине 20 м (на отметке 100,00 м) с тем, чтобы снизу туннеля были водонепроницаемые грунты, предотвращающие прорыв нижележащих подземных вод. Это позволяет сооружать туннели ускорительного комплекса с помощью проходческих щитов с одновременным креплением стен тубинговыми конструкциями или опалубочным бетонированием. Типовые проходческие щиты в суглинистых моренных грунтах обеспечивают предусматриваемую проектом ускорителя суточную скорость проходки. Вертикальные шахты, экспериментальные залы и служебные помещения могут быть сооружены открытым способом, что должно снизить строительные расходы.

Имеющиеся в окрестностях Дубны электросети позволяют обеспечить электроснабжение ускорительного комплекса в проектом объеме (~300 МВт). Из крупнейших генерирующих станций назовем Конаковскую ГРЭС и Удомльскую АЭС. Через территорию г. Дубна проходят две магистральные линии электропередач напряжением 220 и 500 кВ.

Предварительная проработка существующих возможностей электроснабжения ускорителя и его инфраструктуры дала в результате следующий вариант: строительство ЛЭП-220 кВ, протяженностью 35...40 км непосредственно от центра генерации –

Конаковской ГРЭС до центральной экспериментальной зоны ускорителя с головной понижающей электро-подстанцией 220/110 кВ.

По этому варианту потребуются инвестиции в большем объеме, но стоимость электроэнергии, получаемой непосредственно от генерирующих центров, будет на 40...50% ниже и составит в сегодняшних ценах 0.05 \$ за киловатт/час. Несомненно, что этот вариант требует более углубленного технико-экономического обоснования и принятия решения на уровне Правительства РФ.

Расположенный в Дубне уникальный Центр космической связи "Дубна" является филиалом федерального государственного унитарного предприятия «Космическая связь», самого крупного оператора космической связи в России.

В последние годы ЦКС оснащен мощными оптоволоконными каналами, обеспечивающими передачу информационных потоков при обработке научных данных, поступающих с ускорителей ведущих мировых научных центров (CERN, FNAL, BNL, DESY и др.).

Немаловажным является наличие в ОИЯИ и Дубне современной сетевой и информационно-вычислительной инфраструктуры. В ОИЯИ и городе имеются оптические кабели для передачи данных со скоростью 1 Гбит/с на основе технологии Gigabit Ethernet. Между Дубной и Москвой проложен канал связи с пропускной способностью в 2,5 Гбит/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инициативу в решении вопроса о строительстве ILC в Дубне могли бы взять на себя три ведущих Европейских ускорительных центра: DESY (Гамбург), INFN (Италия) и ОИЯИ (Дубна), а также Российская академия наук и, в первую очередь, БИЯФ СО РАН, ФИАН и ИЯИ РАН, ИТЭФ, Российский научный центр «Курчатовский институт», Институт физики высоких энергий, МГУ им. М.В. Ломоносова и другие заинтересованные ведомства и организации. Подобное предложение, очевидно, получило бы активное одобрение со стороны международного

сообщества, если бы на первом этапе работ основную долю их финансирования приняли на себя Германия, Италия и Россия, которые представляют указанные научные центры. Конечно, это никак не ограничивает, а наоборот, предполагает широкое участие других институтов и стран, в первую очередь из стран-участниц ОИЯИ.

Решение вопроса о строительстве ILC в Дубне в дополнение к прямым научным следствиям имеет исключительное экономическое и политическое значение.

Прежде всего, реализация такого мегапроекта привлечет широкий спектр современных технологий, многие из которых отсутствуют или недостаточно развиты в странах, участвующих в проекте. Развитие новых технологий будет сопровождаться подготовкой соответствующих квалифицированных кадров в адекватной научно-инженерной среде. Это обеспечит подготовку и приток специалистов высочайшей квалификации из научно-технических центров России и других стран, что повлияет на естественную вовлеченность в проект активной и талантливой молодежи и послужит не только для сохранения в России и в других странах СНГ наиболее подготовленных и одаренных научно-технических кадров, но и для возвращения ранее выехавших за границу специалистов. Реализация такого масштабного проекта именно в Дубне позволит организовать широкое международное научное сотрудничество на экономически выгодных условиях.

Создание ускорительного комплекса ILC в предлагаемом формате международного сотрудничества повысит престиж фундаментальной науки в мире.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 ILC Reference Design Report, 2007; <http://www.linearcollider.org/>.
- 2 Yu. Budagov, Yu. Denisov, I. Meshkov, G. Shirkov, A. Sissakian, G. Trubnikov; RuPAC2006, Novosibirsk, September 2006; <http://www.jacow.org/>.

PARTICIPATION OF JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH IN THE PROJECT OF INTERNATIONAL LINEAR COLLIDER

Yu. Budagov, Yu. Denisov, I. Meshkov, G. Trubnikov, A. Sissakian, G. Shirkov

Main information on the unique global future project in the high energy physics – International Linear Collider ILC is presented. JINR participates actively in this project since 2005. Data on technical and scientific frames, participants and organization structure of the project are presented. The information about JINR as one of the candidate of ILC siting in the region of Dubna, Moscow region, is presented.

УЧАСТЬ ОБ'ЄДНАНОГО ІНСТИТУТУ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ПРОЕКТІ МІЖНАРОДНОГО ЛІНІЙНОГО КОЛЛАЙДЕРА ILC

Ю.А. Будагов, Ю.Н. Денисов, І.Н. Мешков, Г.В. Трубіков, А.Н. Сисакян, Г.Д. Ширков

Представлено інформацію про унікальний глобальний проект майбутнього в області фізики високих енергій – Міжнародний лінійний коллайдер ILC. З 2005 р. ОІЯД бере активну участь у цьому проекті. Надано матеріали про технічні і наукові сторони проекту, учасників і організації проектних робіт. Детально пророблена інформація дана про ОІЯД, як одного з кандидатів на розміщення ILC у районі м. Дубни Московської області.